

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
22. Januar 2004 (22.01.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/006745 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: A61B (81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/006137 (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (22) Internationales Anmeldeatum: 11. Juni 2003 (11.06.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102 25 922.4 11. Juni 2002 (11.06.2002) DE
- (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): MACROTRON PROCESS TECHNOLOGIES GMBH [DE/DE]; Ammerthalstrasse 7, 85551 Kirchheim (DE).
- (72) Erfinder; und
- (73) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): SPERSCHNEIDER, Eckhard [DE/DE]; c/o Macrotron Process Technologies GmbH, Ammerthalstrasse 7, 85551 Kirchheim (DE).
- (74) Anwalt: DOSTERSCHILL, Peter; Petra & Partner, Herzog-Ludwig-Str. 18, 85570 Markt Schwaben (DE).

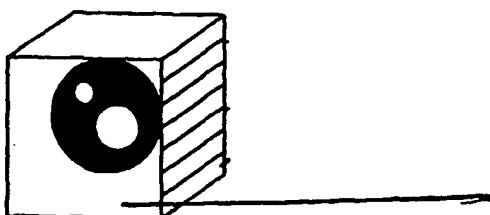
Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweiibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: SYSTEM AND METHOD FOR PERFORMING TOMOSYNTHESIS OF AN OBJECT

(54) Bezeichnung: SYSTEM UND VERFAHREN ZUR TOMOSYNTHESE EINES OBJEKTS



Original

reference object, and the projections (E) of the reference object are approximated to the projections (P1(0)...P1(m)) of the object (O).

(57) Abstract: The invention relates to a method and a system for performing tomosynthesis of an object (O) made of a material. Said system comprises a device (XRAY) for forming projections, particularly an x-ray device which forms projections (P1(0)... P1(m)) of the object, and a computer (CC) to which a control program is assigned. In order to determine the interior space of the object (O), the projections (P1(0)...P1(m)) thereof are compared with projections (E) of a

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und ein System zur Tomosynthese eines Objekts (O), das aus einem Werkstoff besteht, mit einer Einrichtung (XRAY) zur Bildung von Projektionen, insbesondere einer Röntgenaufnahmeeinrichtung, die Projektionen (P1(0)... P1(m)) des Objekts bildet, und mit einer Recheneinheit (CC), der ein Steuerprogramm zugeordnet ist. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass zur Bestimmung des Innerraums des Objekts (O) die Projektionen (P1(0)...P1(m)) des Objekts (O) mit Projektionen (E) eines Referenzobjekts verglichen werden, und dass die Projektionen (E) des Referenzobjekts an die Projektionen (P1(0)...P1(m)) des Objekts (O) angehängt werden.

WO 2004/006745 A2

System und Verfahren zur Tomosynthese eines Objekts

Die Erfindung betrifft ein System und Verfahren zur Tomosynthese eines Objekts nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. 6.

Mit der Computer-Tomographie lässt sich der innere Aufbau von Objekten zerstörungsfrei und berührungslos sichtbar machen, wobei einzelne Schichten (2D) als auch Volumina (3D) rekonstruiert werden können. Gemäß einer im Internet unter http://www.iis.fhg.de/xrt/tech/ct/index_d.html dargestellten Information der Fraunhofer-Gesellschaft werden räumliche Auflösungen bis zu 10 µm erreicht.

Gemäß der vorstehend genannten Information ermöglicht ein industrielles 3-D-Computer-Tomographie-System die Detektion von Dichteänderungen und Fehlern sowie eine Charakterisierung bzgl. ihrer Art, Geometrie und Lage in einem Bauteil. Darüber hinaus lassen sich innenliegende, verdeckte Strukturen vermessen. Softwaremodule gestatten die Darstellung beliebiger Ebenen aus den komplett rekonstruierten Volumendaten sowie eine räumliche Abbildung auch einzelner Volumenbereiche.

Bei Objekten, die aufgrund ihrer Geometrie nicht für die achsiale Computer-Tomographie geeignet sind, kann das Verfahren der planaren Computer-Tomographie eingesetzt werden, das Dichteveränderungen und Fehler sichtbar macht, die bezüglich ihrer Geometrie und Lage im Objekt charakterisiert werden

können. Die dabei eingesetzte digitale Tomosynthese ermöglicht die Rekonstruktion von mehreren Schichten aus einem Satz von Projektionen, während für die klassische Laminographie pro Messung nur ein Schnittbild erzeugt wird.

Zur Bestimmung der materialmäßigen Zusammensetzung eines Objektes (hinsichtlich Geometrie, Volumen- und Materialverteilung und Struktur) werden Objektdaten messtechnisch erfasst. Beispielsweise wird das zu bestimmende Objekt unter definierten Aufnahmegeometrien röntgentechnisch aufgenommen. Aus mehreren ($n-1$) dimensionalen Messdaten (Objektprojektionen) wird ein (n) dimensionales Objekt synthetisiert und damit rekonstruiert. Dies geschieht mittels der Projektionsdaten, einer mathematische Beschreibung der Aufnahmegeometrie sowie eines Algorithmus, der das Abbildungssystem beschreibt.

Dieses Verfahren benötigt eine Vielzahl von Messdaten aus unterschiedlichen Aufnahmegeometrien. Deren Gewinnung als auch deren rechentechnische Verarbeitung benötigen wegen der vergleichsweise großen Datenmengen viel Zeit.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein System und ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, wobei die Anzahl der Projektionen weiter verringert werden kann.

Die Erfindung ist mit einer Mehrzahl von Vorteilen verbunden. Mit der Verringerung der Anzahl der Projektionen lässt sich die Bearbeitungszeit reduzieren, so dass das System in die Lage versetzt wird, eine größere Anzahl von Objekten pro Zeiteinheit zu bearbeiten. Zugleich wird der Energieeinsatz für die Bearbeitung eines Objektes reduziert.

Die Erfindung wird nun anhand der Zeichnung beschrieben.

Es zeigt

Figuren 1 bis 18 Darstellungen im Zusammenhang mit dem von dem

- erfindungsgemäßen System durchführbaren Verfahren,
u.a. in Gegenüberstellung mit herkömmlichen Verfahren;
Figur 19 eine Blockdarstellung des erfindungsgemäßen Systems;
und
Figur 20 Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Das in Figur 19 dargestellte System besteht aus einer Einrichtung (XRAY) zur Bildung von Projektionen, insbesondere aus einer Röntgenaufnahmeeinrichtung, die Projektionen ($P_1(0) \dots P_1(m)$) der Objektschichten ($O_1(5) \dots O_1(-5)$) bildet, aus einer Detektoreinheit DET und aus einer Recheneinheit CC, der ein Steuerprogramm zugeordnet ist. Dieses definiert das erfindungsgemäße Verfahren. Weiterhin ist dem System eine Ein-/Ausgabeeinheit I/O zugeordnet. In die Einheit sind erste Daten D1, die die Geometrie des Objekts (O) (=Sollgeometrie eines Referenzobjekts) bezeichnet, und/oder zweite Daten D2, die den Werkstoff des Objekts (O) (= Werkstoff des Referenzobjekts) bezeichnet, und/oder weitere Daten, die das Objekt bezeichnen, eingebbar. Auf einem Monitor der Einheit I/O sind Schichten des Objekts sowie Schichten eines rekonstruierten Raums darstellbar, wie z.B. in den Figuren 10 bis 18 gezeigt.

Das von dem System durchführbare Verfahren stellt sich wie folgt dar:

Ein Ausgangsobjekt O_{Original} befindet sich im Raum, vgl. z.B. Figur 19. Nach Durchführung des Verfahrens kann es in mehreren Schichten dargestellt werden, siehe Figur 1 sowie die Schnitte $O_1(5) \dots O_1(-5)$ und $O_2(5) \dots O_2(-5)$ in den Figuren 10 und 11.

Durch Röntgenaufnahmen werden unter verschiedenen Winkeln Projektionen P erzeugt, Figuren 2 (Projektionen $P_1: -45^\circ; P_2: 0^\circ; P_3: +45^\circ$), 10 und 11.

Diese vom Originalobjekt O erzeugten Projektionen (real z.B. durch Röntgen-technik erstellt) bilden die Ausgangsbasis für eine Rekonstruktion des Original-objekts O.

Um das Originalobjekt O zu rekonstruieren, verwendet man folgenden Algorithmus. Man geht von einer homogenen Materialverteilung im virtuellen Objektraum aus, Figur 3 (Homogenes Objekt; Virtueller Objektraum im 1. Rekonstruktionsschritt V_{rec1}).

Von diesem Ausgangsobjekt werden nun basierend auf der Abbildungsgeometrie der Originalprojektionen neue virtuelle Projektionen ($E_0...n$) errechnet, Figur 4 (Errechnete Projektionen $E_1: -45\%$; $E_0: 0^\circ$, $E_2: +45\%$)

Basierend auf der Differenz zwischen Originalprojektion P und virtueller errechneter Projektion E wird eine Korrektur des Objektraumes vorgenommen, mit dem Ziel, die errechneten Projektionen E in mehreren Iterationsschritten an die Originalprojektionen O anzugeleichen.

Gelingt es, den virtuellen Objektraum so zu modifizieren, dass die errechneten Projektionen E identisch den Originalprojektionen P sind, hat man den Objektraum rekonstruiert.

Es wird also im Rahmen mehrerer Iterationsschritte basierend auf den Originalprojektionen und den errechneten virtuellen Projektionen eine Korrektur des zu rekonstruierenden Objektraumes vorgenommen

$$V_{rec(n+1)} = V_{rec(n)} + \text{Function } (E_{0(n)}-P_{0(n)}, E_{1(n)}-P_{1(n)}, E_{2(n)}-P_{2(n)}.. E_{m(n)}-P_{m(n)})$$

(NeuRaum = AltRaum + Korrektur) bei Additiven Rekonstruktionsverfahren

(NeuRaum = AltRaum * Korrektur) bei Multiplikativen Rekonstruktionsverfahren

In der Art der Korrekturrechnung unterscheiden sich die verschiedenen algebraischen Rekonstruktionsverfahren. Das prinzipielle Vorgehen (iterative Veränderung des Objektraumes und Annäherung der virtuell errechneten Projektionen an die Originalprojektionen) ist aber allen diesen Verfahren gemeinsam.

Im Rahmen des Verfahrens werden Projektionen $P_1(0)...P_1(m)$ des Objekts O gebildet; zur Bestimmung des Innenraums des Objekts O werden die Projektionen $P_1(0)...P_1(m)$ des Objekts O mit Projektionen E eines Referenz-

objekts verglichen und die Projektionen E des Referenzobjekts werden an die Projektionen P1(0)...P1(m) des Objekts O angenähert. Weiterhin werden zur Bestimmung des Innenraums des Objekts O erste Daten D1, die die Geometrie des Referenzobjekts bezeichnen, und/oder zweite Daten D2, die den Werkstoff des Objekts O bezeichnen, und/oder weitere Daten, die das Objekt bezeichnen, verwendet.

Insbesondere werden Abweichungen zwischen Daten, die das Referenzobjekt bezeichnen, und Daten, die das Objekt bezeichnen, gebildet.

Zur Bestimmung des Innenraums des Objekts O können bei der Verwendung von mindestens zwei Daten z.B. D1 und D2 die verwendeten Daten unterschiedlich gewichtet werden (z.B. 0,4 und 0,6). So werden Daten, die eine stark absorbierenden Objektwerkstoff bezeichnen, geringer gewichtet als Daten, die die Sollgeometrie des Objekts (= Geometrie des Referenzobjekts) bezeichnen.

Nach Bestimmung des Innenraums des Objekts O können Daten, die den bestimmten Objektinnenraum bezeichnen, mit vorgebbaren Referenzdaten verglichen werden. In Abhängigkeit des Vergleichs wird das Objekt O für eine vorgebbare Verwendung freigegeben oder nicht freigegeben.

Ein wesentliches Problem bei allen Rekonstruktionsverfahren ist, dass bei geringen Anzahlen von Projektionen verschiedene Materialverteilungen im Objektraum die gleichen Projektionen erzeugen können. D.h. je geringer die Anzahl der Projektionen ist, um so größer ist die Unsicherheit im rekonstruierten Objektraum.

Beispielsweise könnten beide in Figur 5 dargestellten Materialverteilungen im Raum die gleiche Projektionen erzeugen.

(dunkel = Material mit starker Absorption, heller = Material mit geringerer Absorption)

Erst durch zusätzliche Projektionen lässt sich der Objektraum richtig rekonstruieren, Figur 6.

Für den Fall des homogenen Objektwerksstoffes lässt sich dieses Problem reduzieren.

Aber auch in diesem Fall und bei einer geringen Anzahl von Projektionen kann die Rekonstruktion des Objektraumes nur mit einer gewissen Unsicherheit erfolgen.

Im Beispiel könnten auch bei einem homogenen Material bei beiden Materialverteilungen im Raum die gleichen Projektionen entstehen, Figur 7.

Im dargestellten Beispiel ist das Material zwar homogen, aber die Größe und Verteilung im Raum ist unterschiedlich. Dennoch erzeugen die drei Strahlen nahezu identische Projektionen. Da aber nur die Projektionen bekannt sind, kann der Raum lediglich mit einer Ungewissheit rekonstruiert werden.

Auch in diesem Beispiel könnte durch Vergrößerung der Projektionsanzahl die Rekonstruktionsqualität verbessert werden, Figur 8.

Geht man jedoch davon aus, dass man einen Grossteil der Materialverteilung kennt, kann die oben beschriebene Ungewissheit reduziert werden, vgl. Figur 9 (links: tatsächliche Material-Verteilung; Mitte: erwartete Material-Verteilung; rechts: unbekannte Material-Verteilung).

Im Rahmen des Verfahrens wird aus einer guten Näherung (erwartete Materialverteilung) die tatsächliche Materialverteilung konstruiert, was sich als einfacher und dabei als hoch qualitativ erweist, als aus einer unbekannten Materialverteilung die tatsächliche Materialverteilung zu errechnen.

Dementsprechend werden im Rahmen des Verfahrens zur Bestimmung des Innenraums eines Objekts O die genannten ersten und/oder zweiten Daten verwendet. Es können auch Daten verwendet werden, die einen zu findenden Fehler z.B. einen Riss bezeichnen.

Das Verfahren eignet sich unter anderem für Gussteil-Objekte, deren (Soll-) Außengeometrie bekannt ist und die aus genau einem – bekannten – Werkstoff bestehen. Schon mit 3 Projektionen lassen sich sehr gute Ergebnisse bei der räumlichen Rekonstruktion erzielen.

Das von dem erfindungsgemäßen System durchführbare Verfahren kann grundsätzlich auch auf Objekte angewendet werden, die aus mehr als einem Werkstoff bestehen.

Für die in Figur 10 gezeigten Bilder (1. Spalte (links): n Schichten des Originalobjekts O; 2. Spalte: Projektionen P von O unter verschiedenen Winkeln, 3. Spalte: n Schichten des rekonstruierten Raumes, es wurde alle Projektionen verwendet; Stand der Technik bei Iteration > 10, 4. Spalte: n Schichten des rekonstruierten Raumes unter Verwendung aller Projektionen und der Inform. „homogenes Material“ bei Iteration > 10) wurde ein errechnetes Phantom (Referenzobjekt) verwendet, welches aus einer großen Kugel besteht, die im inneren 2 kleinere kugelförmige Löcher enthält. Diese Bilder sind das Ergebnis der ersten Rekonstruktionsversuche.

Man erkennt deutlich den qualitativen Unterschied, der durch die Verwendung der Information „Homogenes Material“ erreicht wird, vgl. Figur 10, 3 und 4. Spalte.

Artefakte im Bild (Doppelkreuz in der Bildmitte) entstehen durch Probleme bei der Berechnung der geometrischen Beziehung zwischen Projektionen und Objektraum.

Auch für die in Figur 11 gezeigten Bilder (1. Spalte (links): n Schichten des Originalobjekts O; 2. Spalte: n Schichten des rekonstruierten Raumes nach der 1. Iteration, es wurden 3 Projektionen verwendet, erfindungsgemäßes System; 3. Spalte: n Schichten des rekonstruierten Raumes nach der 3. Iteration, es wurden 3 Projektionen verwendet, erfindungsgemäßes System). wurde ein errechnetes Phantom (Referenzkörper) verwendet, welches aus einer großen Kugel besteht, die im inneren 2 kleinere kugelförmige Löcher enthält. Das weiter oben liegende Loch ist kleiner als das untere. Beide Löcher gehen ineinander über.

Artefakte fehlen weitgehend. Die Geometrieberechnung konnte entschieden verbessert werden. Für die Rekonstruktion wurden die folgenden 3 Projektionen des Originals verwendet.

Projektionen des Originals ($0, -45^\circ, +45^\circ$), Figur 12

Allein diese 3 Projektionen wurden für die Rekonstruktion verwendet. Nach obig beschriebenen Algorithmus wird versucht, durch Variation der Materialverteilung im Raum eine Annäherung der errechneten Projektionen an die gemessene Originalprojektionen zu erreichen.

Projektionen der Rekonstruktion nach der 1. Iteration, Figur 13

Projektionen der Rekonstruktion nach der 3. Iteration; Figur 14

Nach der 3. Iteration ergibt sich keine Verbesserung des Rekonstruktionsergebnisses durch weitere Iterationsschritte.

Die Projektionen nach der 3. Iteration stimmen schon sehr gut mit den Projektionen des Originals überein.

Als Rechenzeitbedarf für obige kleine Objekte ergaben sich folgende Zeiten:

1. Iteration ~ 50ms

2. Iteration ~ 10ms

3. Iteration < 1ms

Dabei wurde von folgendem ausgegangen:

1. Homogenes Material, d.h. jede Stelle im Objektraum besteht aus Material oder aus Nichts (Luft)
2. Grundgeometrie ist weitestgehend bekannt, d.h. für die Rekonstruktion wird vorausgesetzt, dass sich im Objektraum die große Kugel befindet.

Die Löcher werden erst durch die Rekonstruktion in Position und Größe im Raum rekonstruiert.

Für die qualitative Kontrolle der Rekonstruktion kann man in den Figuren 12 bis 14 die Schnitte des Originalraumes mit den Schnitten des rekonstruierten Raumes vergleichen.

Um den entschiedenen Vorteil des Verfahrens zu verdeutlichen, bei dem eine gute Näherung der Ausgangsgeometrie berücksichtigt wird, werden im folgenden die Ergebnisse des Rekonstruktionsverfahrens ohne Berücksichtigung der Geometrie verdeutlicht.

Es wird von den 3. Projektionen des Originals ausgegangen, Figur 15

Durch Variation der Materialverteilung im Raum wurden nach dem 1. Iterationsschritt folgende errechneten Projektionen ermittelt:

- Projektionen der Rekonstruktion nach der 1. Iteration, Figur 16;
- Projektionen der Rekonstruktion nach der 10. Iteration, Figur 17.

Man erkennt, dass auch hier durch eine größere Anzahl von Iterationsschritten eine entsprechend gute Näherung der errechneten Projektionen an die Originalprojektionen erreicht wird.

Als Rechenzeitbedarf für obige kleine Objekte ergaben sich - bei unbekannter Objektverteilung – folgende Zeiten:

1. Iteration ~ 190ms
2. Iteration ~ 190ms
3. Iteration ~ 171ms
4. Iteration ~ 160ms
5. Iteration ~ 160ms
6. Iteration ~ 151ms
7. Iteration ~ 150ms
8. Iteration ~ 140ms
9. Iteration ~ 150ms
10. Iteration ~ 140ms

Die in Figur 18 dargestellten Schnitte des Originalraumes und des rekonstruierten Raumes zeigen erhebliche Differenzen. Es wird deutlich, dass trotz sehr guter Näherung der Projektionen eine qualitativ ausreichende Rekonstruktion des Raumes auf Basis von nur 3 Projektion nicht möglich ist. Erst durch zusätzliche Projektionen lässt sich dieses Ergebnis verbessern.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei dem von dem erfindungsgemäßen System durchführbaren Verfahren, dessen Schritte in Figur 20 schematisch dargestellt ist, ausgehend von einer weitgehend bekannten Geometrie eines Objektes (z.B. sind CAD Daten vorhanden) und der Annahme, es handelt sich um ein homogenes Material (z.B. Aluguss) gute Rekonstruktionsergebnisse erzielt werden. Es ist nicht erforderlich, das gesamte Objekt 3D zu rekonstruieren, lediglich Abweichungen zu einer bestehenden Objektgeometrie werden rekonstruiert. Somit erhält man ein Differenzmodell zwischen (Soll-)Ausgangsmodell (gewünschte Geometrie) und tatsächlich vorhanden Istmodell.

Fehler in Objekten (Lunker) lassen sich also hinsichtlich Volumen und Anordnung gut beschreiben und darstellen.

Das im vorstehende beschriebene (3D-)Verfahren, das von dem erfindungsgemäßen System durchgeführt wird, lässt sich weiter vereinfachen. Unter Verwendung der Aufnahmetechnik (LDA) beschränkt sich die Berechnung auf die Rekonstruktion von 2D Schnitten auf Basis von n-1D Projektionen. Damit werden das zu verarbeitende Datenvolumen und die Rechenzeit erheblich reduziert.

Bezugszeichenliste

O	Objekt
O1(5) ...O1(-5)	Objektschichten
P1(0)...P1(m))	Projektion des Objekts (O1(5) ...O1(-5))
E	Projektionen des Referenzobjekts
XRAY	Einrichtung zur Bildung von Projektionen P
DET	Detektor
CC	Recheneinheit
I/O	Ein-/Ausgabeeinheit

Patentansprüche

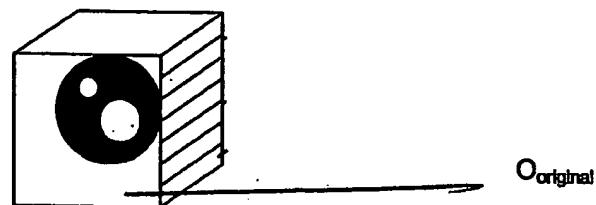
1. System zur Tomosynthese eines Objekts (O), das aus einem Werkstoff besteht, mit einer Einrichtung (XRAY) zur Bildung von Projektionen, insbesondere einer Röntgenaufnahmeeinrichtung, die Projektionen (P1(0)...P1(m)) des Objekts bildet, und mit einer Recheneinheit (CC), der ein Steuerprogramm zugeordnet ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Steuerprogramm weiterhin in der Weise ausgestaltet ist, dass zur Bestimmung des Innenraums des Objekts (O) die Projektionen (P1(0)...P1(m)) des Objekts (O) mit Projektionen (E) eines Referenzobjekts verglichen werden, und dass die Projektionen (E) des Referenzobjekts an die Projektionen (P1(0)...P1(m)) des Objekts (O) angenähert werden.
2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuerprogramm weiterhin in der Weise ausgestaltet ist, dass zur Bestimmung des Innenraums des Objekts (O) erste Daten (D1), die die Geometrie des Referenzobjekts bezeichnen, und/oder zweite Daten(D2), die den Werkstoff des Objekts (O) bezeichnen, und/oder weitere Daten, die das Objekt bezeichnen, verwendet werden.
3. System nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuerprogramm weiterhin in der Weise ausgestaltet ist, dass Abweichungen zwischen Daten, die das Referenzobjekt bezeichnen, und Daten, die das Objekt bezeichnen, gebildet werden.

4. System nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuerprogramm weiterhin in der Weise ausgestaltet ist, dass zur Bestimmung des Innenraums des Objekts (O) bei der Verwendung von mindestens zwei Daten (D1D2) die verwendeten Daten, die die Geometrie des Referenzobjekts, den Werkstoff des Objekts (O) und/oder das Objekt bezeichnen, in unterschiedlicher Gewichtung verwendet werden.
5. System nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuerprogramm weiterhin in der Weise ausgestaltet ist, dass nach Bestimmung des Innenraums des Objekts (O) Daten, die den bestimmten Objektinnenraum bezeichnen, mit vorgebbaren Referenzdaten verglichen werden, und dass in Abhängigkeit des Vergleichs das Objekt (O) für eine vorgebbare Verwendung freigegeben oder nicht freigegeben wird.
6. Verfahren zur Tomosynthese eines Objekts (O), das aus einem Werkstoff besteht, wobei Projektionen (P1(0)...P1(m)) des Objekts gebildet werden, dadurch gekennzeichnet,
dass zur Bestimmung des Innenraums des Objekts (O) die Projektionen (P1(0)...P1(m)) des Objekts (O) mit Projektionen (E) eines Referenzobjekts verglichen werden, und dass die Projektionen (E) des Referenzobjekts an die Projektionen (P1(0)...P1(m)) des Objekts (O) angenähert werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung des Innenraums des Objekts (O) erste Daten (D1), die die Geometrie des Referenzobjekts bezeichnen, und/oder zweite Daten(D2), die den Werkstoff des Objekts (O) bezeichnen, und/oder weitere Daten, die das Objekt bezeichnen, verwendet werden.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass Abweichungen zwischen Daten, die das Referenzobjekt bezeichnen, und Daten, die das Objekt bezeichnen, gebildet werden.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung des Innenraums des Objekts (O) bei der Verwendung von mindestens zwei Daten (D1D2) die verwendeten Daten, die die Geometrie des Referenzobjekts, den Werkstoff des Objekts (O) und/oder das Objekt bezeichnen, in unterschiedlicher Gewichtung verwendet werden.

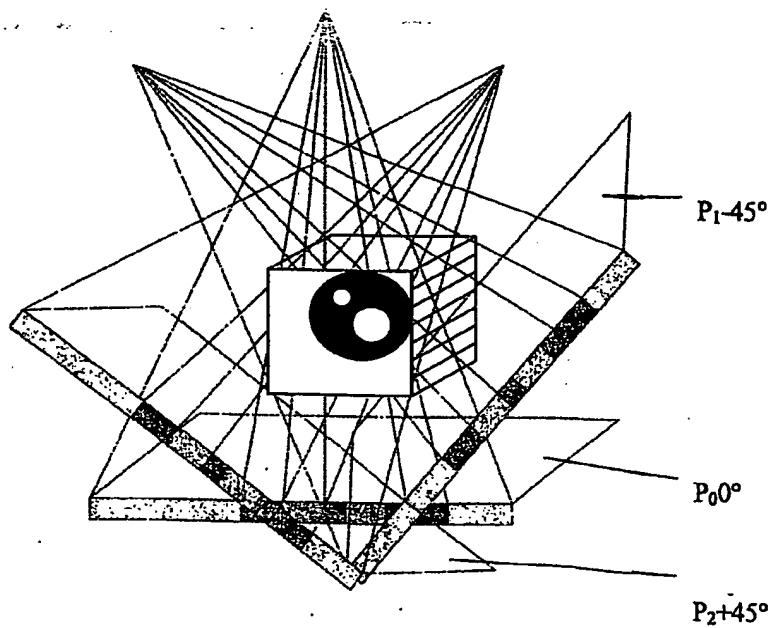
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass nach Bestimmung des Innenraums des Objekts (O) Daten, die den bestimmten Objektinnenraum bezeichnen, mit vorgebbaren Referenzdaten verglichen werden, und dass in Abhängigkeit des Vergleichs das Objekt (O) für eine vorgebbare Verwendung freigegeben oder nicht freigegeben wird.

1/10



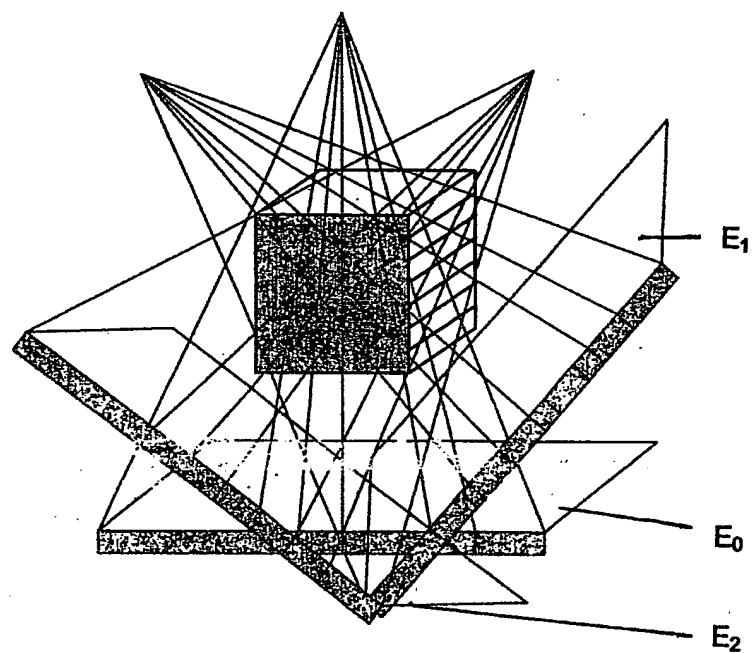
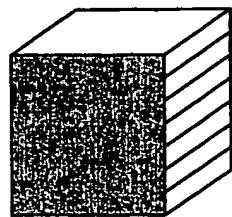
Figur 1

Figur 2



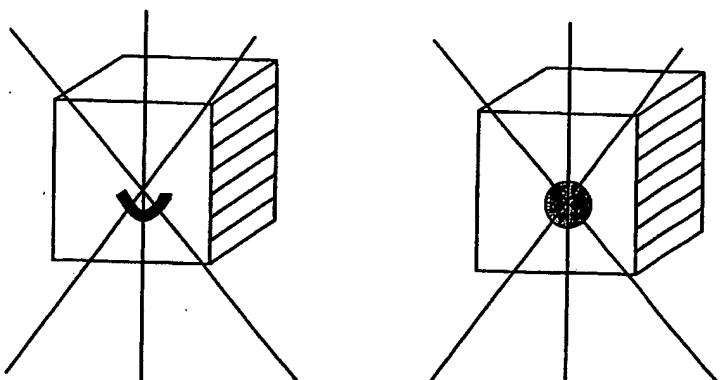
2/10

Figur 3

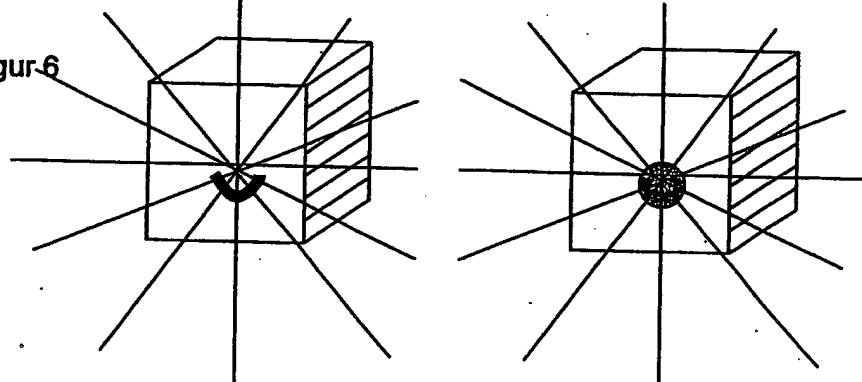


Figur 4

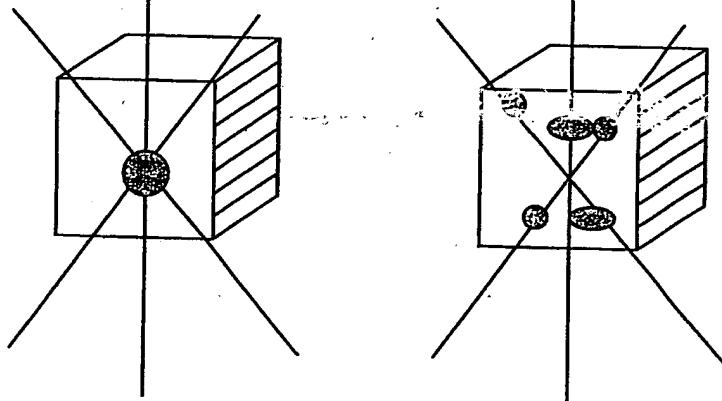
Figur 5



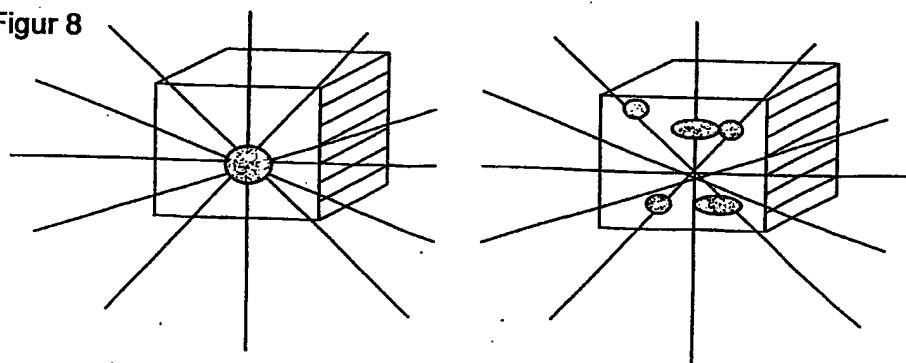
Figur 6



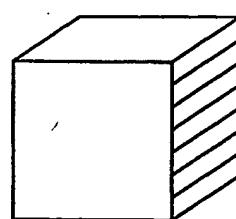
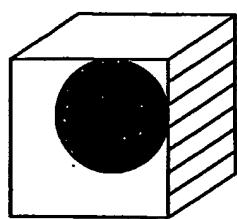
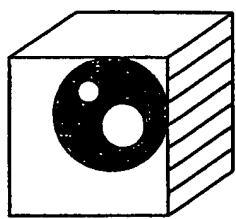
Figur 7



Figur 8



Figur 9



O1(+5)		P1(0)					
O1(+4)		P1(1)					
O1(+3)		P1(2)					
O1(+2)		P1(3)					
O1(+1)		P1(4)					
O1(0)		P1(5)					
O1(-1)		P1(6)					
O1(-2)		P1(7)					
O1(-3)		P1(8)					
O1(-4)		P1(9)					
O1(-5)							

Figur 10

O2(+7)		R21 (+7)		R23 (+7)	
O2(+6)		R21 (+6)		R23 (+6)	
O2(+5)		R21 (+5)		R23 (+5)	
O2(+4)		R21 (+4)		R23 (+4)	
O2(+3)		R21 (+3)		R23 (+3)	
O2(+2)		R21 (+2)		R23 (+2)	
O2(+1)		R21 (+1)		R23 (+1)	
O2(0)		R21 (0)		R23 (0)	
O2(-1)		R21 (-1)		R23 (-1)	
O2(-2)		R21 (-2)		R23 (-2)	
O2(-3)		R21 (-3)		R23 (-3)	
O2(-4)		R21 (-4)		R23 (-4)	
O2(-5)		R21 (-5)		R23 (-5)	
O2(-6)		R21 (-6)		R23 (-6)	
O2(-7)		R21 (-7)		R23 (-7)	

Figur 11

7/10

Figur 12



Figur 13



Figur 14



Figur 15



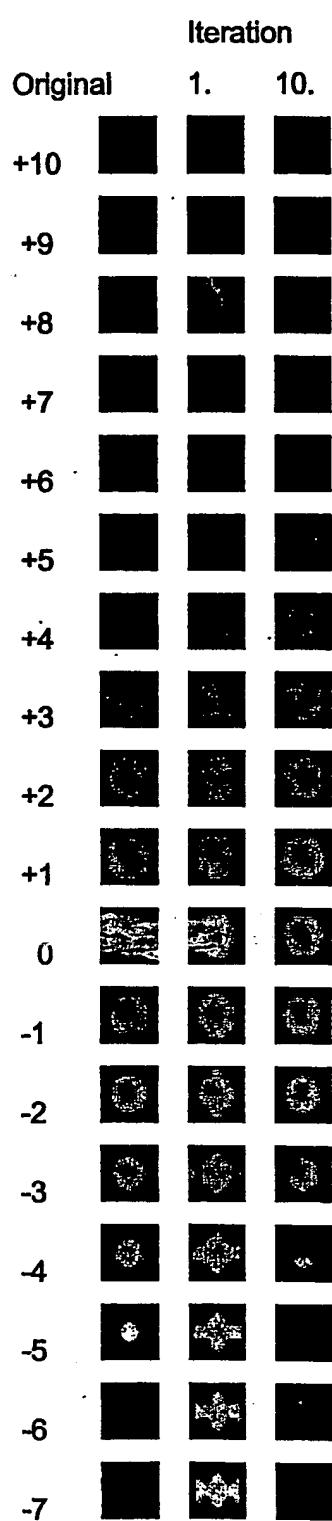
Figur 16



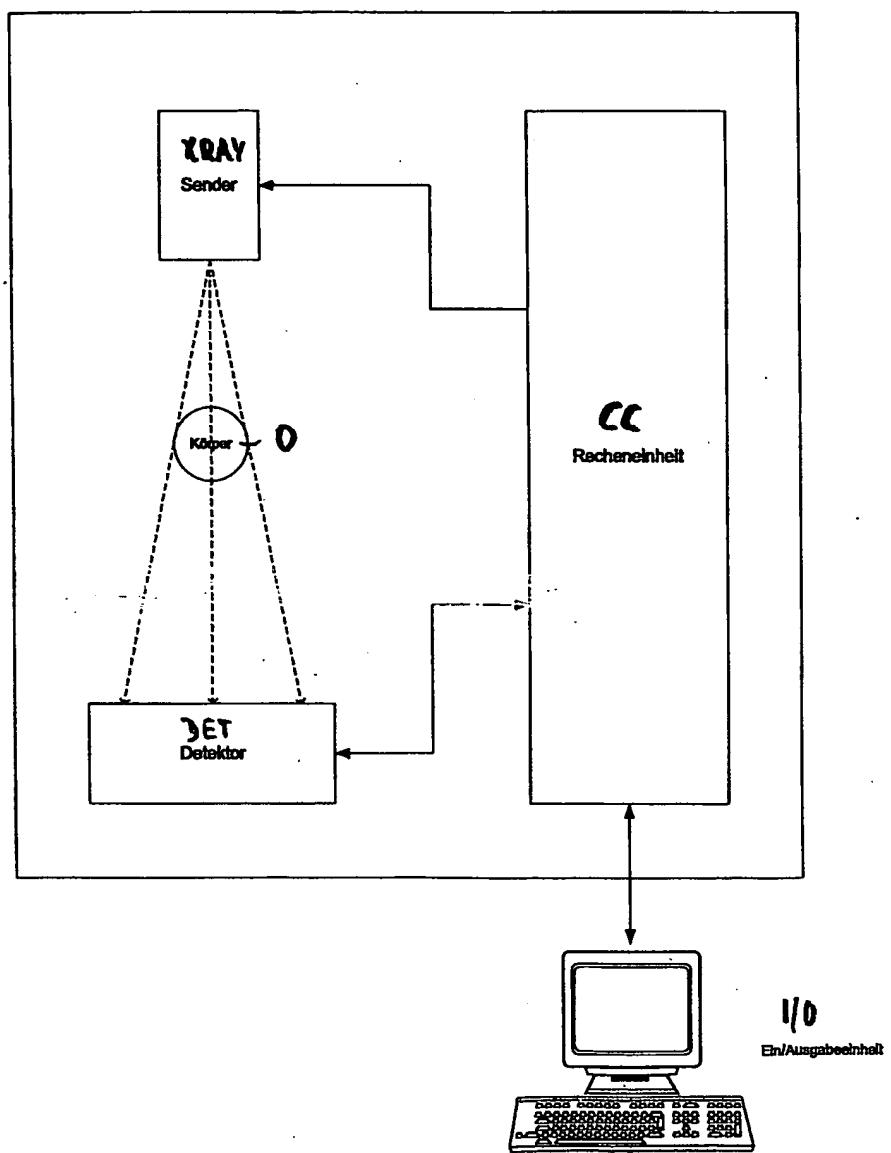
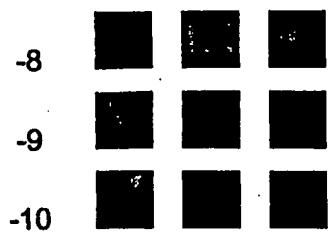
Figur 17



Figur 18

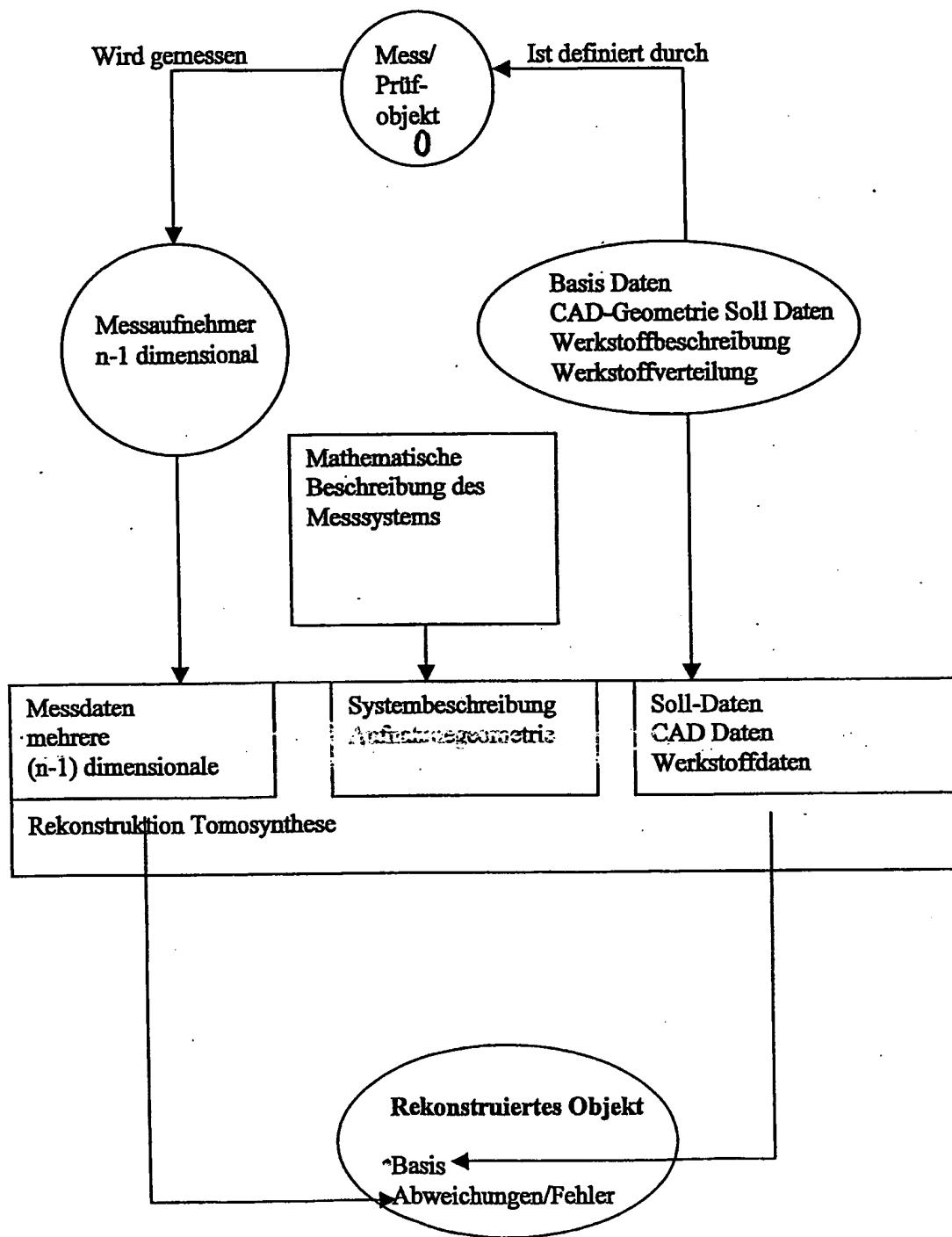


9/10



Figur 13

10/10



Figur 20